NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. L. BASSOT.

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS ET FILS, IMPRIMEURS-LIBRAIRES
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1892

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. L. BASSOT.

RÉSUMÉ.

M. le colonel Bassot, ancien élève de l'École Polytechnique, Correspondant du Bureau des Longitudes depuis 1875, l'un des délégués français à l'Association géodésique internationale, est, depuis dix ans, chef de la Section de Géodésie et d'Astronomie du Service géographique de l'armée.

Depuis vingt-deux ans, il s'occupe de travaux de haute Géodésie. Après avoir été le collaborateur du général Perrier, dont il s'honore d'avoir été l'élève et l'ami, après avoir participé, depuis l'année 1870, à toutes les œuvres que cet éminent géodésien avait entreprises, il a été chargé, en 1882, de les poursuivre et de les diriger.

Ces travaux sont les suivants :

1870-1892. — *Nouvelle mesure de la méridienne de France.*

Cette opération est presque terminée. Elle comprend : 1° l'exécution d'une chaîne continue entre les Pyrénées et Dunkerque, sur un développement de $8^{\circ}\frac{1}{2}$; 2° la mesure de trois bases; 3° des déterminations astronomiques en huit stations.

Rattachée au nord à la triangulation anglaise, au sud à celle de l'Espagne, la nouvelle méridienne, mesurée avec toute la précision que réclament les besoins actuels de la Science, peut figurer maintenant dans le grand arc anglo-franco-espagnol, d'une étendue de 28°, dont l'étude contribuera à préciser la grandeur et la forme de la Terre.

Les opérations sur le terrain ont été exécutées par MM. Perrier, Bassot et Defforges. Seul des trois opérateurs, M. Bassot a participé à l'œuvre dans son ensemble; il lui a consacré 22 campagnes d'observations.

1871-1873. — *Nivellement de haute précision par la méthode des distances zénithales réciproques et rigoureusement simultanées.*

1874-1892. — *Stations astronomiques en France, en Algérie et à l'étranger* (20 *déterminations de différence de longitude,* 10 *de latitude et azimut*).

— *Méthode nouvelle pour éliminer, dans les mesures de latitude, les erreurs systématiques de Catalogue et de saison.*

1879. — *Jonction géodésique de l'Algérie avec l'Espagne.*

1886. — *Méridienne de Laghouat.*

Cette triangulation, dont le développement est de 3°, a été exécutée en une seule campagne.

1882. — *Observation du passage de Vénus sur le Soleil du* 6 *décembre* 1882 (Mission de la Floride).

1887. — *Observations faites à Nice et les environs pour la mesure de l'intensité relative de la pesanteur.*

1890. — *Publication de nouvelles Tables de logarithmes à* 8 *et à* 5 *décimales, dans le système de la division centésimale du quadrant.*

La plupart de ces travaux ont été successivement soumis au jugement de l'Académie. Ils ont été publiés ou sont en voie de publication dans les tomes XI, XII, XIII et XIV du *Mémorial du Dépôt de la Guerre.*

On trouvera dans les pages suivantes les détails caractéristiques des opérations.

NOTE PRÉLIMINAIRE.

Des nouvelles opérations géodésiques entreprises en France

Par le Service géographique de l'armée.

La célèbre triangulation exécutée, à la fin du siècle dernier, par Delambre et Méchain, le long du méridien de Paris, triangulation que l'on désigne sous le nom de *méridienne de France*, a été considérée pendant longtemps comme une œuvre parfaite; elle avait été, en effet, poursuivie par ces deux illustres astronomes, au milieu de circonstances très difficiles, avec une précision qui n'avait jamais encore été atteinte, et que l'on ne croyait guère, à cette époque, pouvoir être dépassée.

C'est ainsi que la Commission royale, instituée en 1818 pour préparer le programme des travaux nécessaires à l'établissement d'une nouvelle Carte de France, et présidée par Laplace, décida que cette méridienne formerait le réseau fondamental sur lequel on appuierait toute la triangulation française.

Mais quand les ingénieurs-géographes, après avoir achevé l'immense canevas qui couvre la France, discutèrent les résultats obtenus par les différents enchaînements qu'ils avaient établis, en les appuyant sur des bases nouvelles, ils mirent en évidence des erreurs inadmissibles, dont le poids retombait tout entier sur la méridienne de Paris. Plus tard, les observations astronomiques, faites par M. Villarceau en différents point du réseau, ont confirmé les imperfections de cette chaîne.

L'œuvre de Delambre et Méchain a donc été reconnue tout à fait impropre à concourir, avec les mesures récentes faites à l'étranger, à l'étude de la forme et des dimensions du globe terrestre; par ce fait, toute la triangulation française se trouvait frappée de déchéance.

Pour rendre à la méridienne de France une valeur scientifique, il fallait la mesurer à nouveau. La nécessité de cette nouvelle mesure devait, d'ailleurs, bientôt s'imposer : en 1861, la méridienne était reliée, au nord, à la triangulation anglaise; au sud, les Espagnols greffaient sur elle leur réseau primordial; la possibilité de joindre l'Espagne à l'Algérie par-dessus la Méditerranée, entrevue par Biot et Arago, démontrée plus tard par les calculs de Levret, se trouvait con-

firmée par les reconnaissances faites en Algérie par le capitaine Perrier : on pouvait, dès lors, constituer un grand arc méridien qui, partant des îles Shetland, traverserait l'Écosse, l'Angleterre, la France, l'Espagne et arriverait jusqu'aux confins du Sahara algérien par une amplitude de 28°, soit près d'un tiers du méridien terrestre (*voir* la Carte ci-annexée). La réalisation d'un pareil projet exigeait que l'on fît disparaître les imperfections de la partie française, afin qu'elle ne fût pas d'une précision inférieure à celle des segments anglais et espagnols.

Le Bureau des Longitudes, frappé de l'intérêt scientifique qui s'attachait à cette entreprise, fit auprès du Ministre de la Guerre les démarches les plus pressantes pour qu'il en ordonnât l'exécution, et c'est grâce à sa haute et puissante intervention que, en 1869, le maréchal Niel arrêta tout un programme d'opérations, dont l'application allait donner un nouvel essor aux études de haute Géodésie, trop longtemps négligées dans notre pays.

Ce programme comprenait : 1° une nouvelle mesure de la méridienne, entre les Pyrénées et Dunkerque; 2° la jonction de l'Espagne avec l'Algérie; 3° la triangulation de la méridienne d'Alger à Laghouat.

Dès 1870, les travaux furent entrepris, et la direction en était confiée au général Perrier, alors capitaine. C'est à ce moment que j'ai été attaché, sur ma demande, à la Section de Géodésie du Service géographique de l'armée, pour prendre part à ces opérations. Depuis cette époque, je les ai poursuivies sans interruption, d'abord comme collaborateur du général Perrier, puis comme chef des travaux sur le terrain.

A l'heure actuelle, le programme tracé par le maréchal Niel peut être considéré comme rempli : la méridienne de France est presque entièrement achevée; la jonction de l'Espagne avec l'Algérie date de 1879; la triangulation de la méridienne de Laghouat a été exécutée en 1886.

Avant d'exposer la part que j'ai prise dans l'exécution de ces divers travaux, il me paraît nécessaire de montrer d'abord quels ont été, dès le début, les progrès réalisés, soit dans les méthodes, soit dans les instruments d'observation.

Je me hâte de reconnaître que c'est au général Perrier que revient le mérite d'avoir introduit, dans la pratique des observations, la plupart de ces perfectionnements, qui nous ont permis de conduire les opérations dans une voie véritablement scientifique.

Instruments et méthodes. — Nos devanciers ont toujours pratiqué la méthode de la répétition dans les mesures d'angle; ne se préoccupant nullement des progrès réalisés à l'étranger, abandonnant le rôle scientifique qu'il avait tenu si longtemps, le Dépôt de la Guerre ne renouvelait ni son outillage ni ses mé-

thodes : les traditions laissées par les ingénieurs-géographes constituaient comme une arche sainte, à laquelle on ne pouvait toucher.

Pour l'œuvre nouvelle qui nous était confiée, il fallut tout réformer, instruments et méthodes : nous avons substitué la réitération à la répétition et adopté l'emploi des signaux lumineux.

L'instrument mis en œuvre pour nos opérations de haute précision, construit par MM. Brunner, est un cercle azimutal à quatre microscopes, dont le limbe a $0^m,42$ de diamètre, la lunette $0^m,60$ de distance focale; l'objectif a une ouverture de $0^m,081$; au foyer se trouve un réticule à fil mobile, comme dans les lunettes astronomiques. L'éclairage des divisions du limbe est réalisé par une disposition ingénieuse qui consiste à faire réfléchir, suivant l'axe même des microscopes, un faisceau de lumière zénithale diffuse, de sorte que, dans toutes les positions de l'alidade, il est absolument constant, condition indispensable pour obtenir le même degré de précision dans les lectures successives.

L'appareil est simple, parce qu'il n'a été construit que pour une seule fonction, la mesure des directions azimutales; il jouit d'une stabilité absolue; il est d'une pratique commode; on peut affirmer, en un mot, qu'il réalise le type le plus parfait des instruments géodésiques modernes.

L'emploi des signaux lumineux constitue un réel progrès; il permet d'observer à plus grande portée et d'élargir les mailles d'un réseau géodésique. Au début, nous n'avons utilisé que les signaux solaires; on opérait dans le Midi, sur des pics d'un accès difficile où les observations de nuit n'auraient pu être pratiquées sans danger. Nous avions d'ailleurs une prévention contre les observations de nuit; les épreuves faites sur le parallèle de Paris avaient été jugées si peu favorables que les ingénieurs-géographes avaient renoncé à les employer. Ce n'est qu'en 1875 que, sur les conseils de MM. Élie de Beaumont, Fizeau et Villarceau, nous avons essayé de les pratiquer à nouveau. L'expérience a été décisive; pendant toute une campagne, nous avons poursuivi, en dix stations consécutives, des observations comparatives de jour et de nuit, et les résultats obtenus ont démontré d'une façon irrécusable que les observations de nuit, appliquées aux directions azimutales seulement, possèdent un degré de précision égal, sinon supérieur aux observations de jour (*Comptes rendus*, 4 et 11 juin 1877). Cette preuve obtenue, nous avons introduit définitivement les observations de nuit dans la pratique et, depuis cette époque, nous observons indifféremment de jour et de nuit, ne laissant ainsi échapper aucune des circonstances où les observations peuvent être faites dans des conditions favorables.

Dans la région du Nord, l'emploi des observations de nuit nous a été particulièrement précieux; le soleil est rare, souvent voilé, et nous aurions dû quelquefois séjourner des mois entiers en nos stations, si nous avions été limités aux signaux solaires. Les signaux de nuit ont moins de portée que les signaux so-

laires; toutefois, avec les appareils que nous employons, on les perçoit à l'œil nu, dans les conditions normales de l'atmosphère, à 40^{km} et même 50^{km}; en Algérie, où l'atmosphère est très transparente, dans la saison de l'automne, cette portée est considérablement augmentée et peut atteindre 100^{km}.

Dans les triangulations d'une dimension exceptionnelle, il faut avoir recours à la lumière électrique : tel a été le cas de la jonction géodésique de l'Espagne avec l'Algérie, où les côtés avaient une longueur de plus de 270^{km}.

Dans toutes nos stations, l'instrument est placé sur la verticale du repère; par suite, nous n'avons jamais de réduction au centre, partant point d'erreur provenant de la mesure des éléments de réduction.

Nous nous sommes astreints à ne jamais stationner ni sur les tours ni sur les clochers : partout nous nous sommes établis en rase campagne, construisant, suivant le cas, des piliers maçonnés ou des charpentes très solides pour supporter l'instrument.

Nous avons toujours réalisé l'indépendance de l'observateur et de l'instrument pour les observations; l'observateur s'isole dans une baraque munie d'un plancher qui entoure, sans le toucher, le pilier de l'instrument.

Quand nous élevons des charpentes, celles-ci sont constituées par deux pylônes indépendants, dont l'un sert à supporter l'instrument et l'autre l'observateur; établies très massivement, elles ne subissent aucune oscillation sous l'action du vent; toutefois, par excès de prudence, nous cessons d'observer si le vent est un peu fort.

Mais ce genre de support donne lieu à un effet particulier qui mérite d'être signalé : les charpentes éprouvent, sous l'influence combinée de l'humidité et du soleil, une torsion, tantôt brusque, tantôt continue, dont le sens varie avec la position du soleil; dès lors, l'instrument n'est plus invariable, et il en résulte une cause d'erreur, qu'on ne peut éliminer que par une méthode particulière d'observation. Il suffit, pour cela, quand on détermine une direction, qui est toujours rapportée à une direction initiale, d'encadrer le pointé fait sur cette direction entre deux pointés faits sur la direction initiale; si le mouvement de torsion est continu pendant la mesure, la moyenne des deux angles ainsi obtenus est indépendante de l'erreur qu'il introduit; mais si ce mouvement est brusque, ce dont on se rend facilement compte par la marche des pointés, l'observation est à rejeter.

I. — Nouvelle mesure de la méridienne de France.

Mémorial du Dépôt de la Guerre, t. XII. — Comptes rendus, 16 mars 1874; 26 juillet 1886; 21 janvier 1889; 13 avril 1891; 8 février 1892.

Le programme des opérations à exécuter sur la méridienne de France, tracé par le général Perrier, comprenait :

1° La mesure des angles sur une chaîne qui s'étend de la frontière d'Espagne à Dunkerque, en reprenant autant que possible les anciens sommets de Delambre et Méchain; en appuyant le réseau sur trois bases au moins, d'abord les deux anciennes bases établies par Delambre à Melun et à Perpignan, puis une base nouvelle à fixer aux environs de Dunkerque; enfin, en se rattachant à chacune des six chaînes parallèles de la triangulation primordiale;

2° Une nouvelle détermination des coordonnées du Panthéon, point fondamental de la triangulation française, et des observations directes de latitude, longitude et azimut, pour compléter celles qui ont été déjà mesurées par l'Observatoire de Paris et porter à dix au moins le nombre des stations astronomiques de la méridienne;

3° La mesure des bases anciennes et nouvelles, en fonction de l'étalon métrique international, rapporté au mètre des Archives;

4° Le calcul du nouvel arc méridien de Paris, puis le calcul des différents parallèles, en partant des éléments pris sur la nouvelle méridienne supposée parfaite, la vérification avec les bases des ingénieurs-géographes; enfin la compensation générale du réseau français.

Dès l'année 1870, les opérations furent entreprises sur le terrain : elles ont été poursuivies depuis lors sans interruption.

L'enchaînement a été terminé en 1888; trois bases ont été mesurées de 1890 à 1892; les coordonnées du Panthéon ont été déterminées en 1884; enfin, sur les dix stations astronomiques projetées, huit sont déjà terminées.

En outre, pour établir la continuité entre cette chaîne et les triangulations anglaise et espagnole, on a effectué avec ces dernières une liaison géodésique et astronomique.

La part que je puis revendiquer dans cette œuvre, qui a réclamé une si grande somme de travaux sur le terrain, est la suivante : j'ai commencé la méridienne avec Perrier et nous stationnions ensemble au Canigou; tant qu'il put observer, je fus son collaborateur et nous partagions les stations entre nous; mais, quand il prit la direction du Service géographique, il me chargea de poursuivre les

opérations, et depuis, avec la collaboration de M. le commandant Defforges, j'ai conduit et terminé l'enchaînement jusqu'à Dunkerque, mesuré les trois bases et exécuté les observations astronomiques en 8 stations.

Seul des trois opérateurs, j'ai eu la bonne fortune de suivre la méridienne dans son ensemble; je lui ai consacré 22 campagnes d'observations.

Je résumerai brièvement les conditions dans lesquelles les diverses parties du programme ont été réalisées.

A. *Établissement du réseau.* — La chaîne part de l'ancienne base de Perpignan. Elle est soudée au réseau espagnol par le côté Forceral-Canigou (*voir* la figure ci-contre). Jusqu'à Rodez, on a pu reprendre les sommets de Méchain; mais, entre Rodez et Dunkerque, les repères de Delambre avaient presque tous disparu ou se trouvaient constitués par des clochers ou monuments dans lesquels il était impossible de s'établir pour y faire des observations de haute précision. Le nouvel enchaînement a été constitué au moyen de points choisis en rase campagne, en vue d'obtenir les meilleures formes de triangles, condition que Delambre n'avait pas toujours pu réaliser. Aux environs de Dunkerque, il aboutit au côté Cassel-Harlettes, qui a servi de base à la jonction anglo-française, exécutée en 1861, et il se relie à la triangulation belge par le côté Cassel-Kemmel.

Entre Bourges et Fontainebleau se trouve une région boisée et faiblement ondulée, où la constitution du réseau a présenté des difficultés considérables; Delambre l'avait contournée à l'ouest, en formant un enchaînement assez défectueux, qui est certainement le point faible de son œuvre; nous l'avons franchie, presque de front, en rachetant les vues qui manquent du sol ferme par des pylônes qui atteignent 15^m, 20^m et quelquefois 30^m de hauteur.

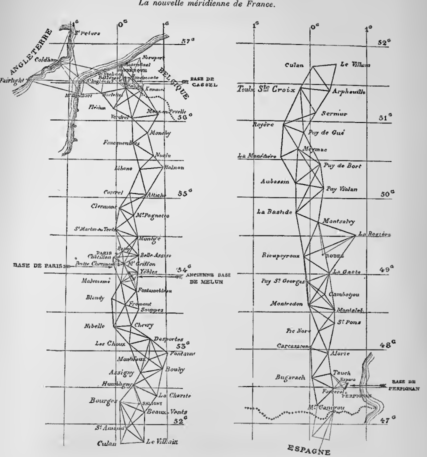
Le passage de cette région a été long et laborieux; chaque station, avant d'être fixée, nous demandait une reconnaissance approfondie; nous ne pouvions avancer que pas à pas, et arrêter l'emplacement d'un sommet qu'après avoir etabli les signaux sur ceux avec lesquels il devait se relier.

Il en a été de même, au delà de Paris, lorsqu'il a fallu couper la vallée de la Somme; nous avons dû, cette fois encore, avoir recours à des signaux très élevés.

La méridienne a été reliée aux anciennes chaînes parallèles des Pyrénées, du littoral méditerranéen, de Rodez, de Clermont et d'Amiens. Les jonctions directes avec les parallèles de Bourges et de Paris seront entreprises ultérieurement.

B. *Observations.* — Les mesures angulaires ont été exécutées avec une entière homogénéité. On a employé un seul type d'instruments, le cercle azimutal

La nouvelle méridienne de France.



de Brunner, avec lequel l'erreur moyenne d'une direction isolée ne dépasse pas $\pm 1'',5$.

En chaque station, on a opéré par tour d'horizon, en faisant 20 séries de mesure, correspondant à 20 origines distinctes du limbe. Toutes les directions ont même poids.

La chaîne proprement dite, non compris les raccordements avec les bases, comprend 88 stations, avec 475 directions. Le total des triangles possibles est de 186. Il existe 25 polygones ou quadrilatères ayant des directions supplémentaires. Ces figures ayant été compensées, le calcul de l'enchaînement peut se faire avec 61 triangles seulement.

Les erreurs de fermeture des triangles sont tantôt positives, tantôt négatives; prises en valeur absolue, elles sont en moyenne de $0'',5$.

C. *Mesure des bases.* — Les anciennes bases de Melun et de Perpignan, mesurées par Delambre, ayant été reliées au réseau, on a constaté par le calcul, en partant de la base de Melun, un désaccord de $0^m,35$ entre la valeur mesurée et la valeur calculée de la base de Perpignan, soit $\frac{1}{34000}$. Avec l'enchaînement de Delambre et Méchain, la différence était de $0^m,29$, mais en sens contraire. La comparaison du nouveau réseau avec l'ancien fait donc ressortir, à la base de Perpignan, une discordance de $0^m,64$ soit $\frac{1}{18000}$.

Avant d'attribuer les écarts à la triangulation, il a paru nécessaire de remesurer les deux bases de Delambre. C'est ce qui a été fait pour celle de Perpignan; mais on a été forcé d'abandonner celle de Melun, le terrain ne se prêtant plus aux opérations de mesurage; on a substitué à celle-ci, dans son voisinage immédiat, une nouvelle ligne, fixée sur la route de Villejuif à Juvisy, que l'on a appelée *base de Paris*. La troisième base, destinée à vérifier le segment nord, a été établie à Cassel, non loin de Dunkerque.

Avant d'indiquer comment ces bases ont été mesurées, il n'est peut-être pas inutile de présenter les considérations suivantes :

La mesure des bases constitue l'opération peut-être la plus délicate de la Géodésie. On est arrivé, grâce aux appareils perfectionnés que l'on possède actuellement, à faire cette mesure avec une précision qui dépasse le $\frac{1}{1000000}$, lorsqu'on est absolument affranchi des erreurs systématiques. Ces erreurs systématiques proviennent : 1° de l'étalonnage; 2° de l'évaluation du coefficient de dilatation; 3° de la détermination de la température des règles pendant la mesure des portées.

Les erreurs dues à l'étalonnage et à l'évaluation du coefficient de dilatation sont infiniment réduites, grâce aux ressources que présente l'établissement de Breteuil pour les déterminations de ces constantes. Celles qui proviennent de la température des règles, pendant les mesures sur le terrain, sont les seules dangereuses.

Le seul appareil qui offre des garanties sérieuses, pour l'élimination de cette dernière erreur, est l'appareil bimétallique, qui permet d'évaluer rigoureusement la tempéra-

ture, par la différence de dilatation des deux règles, si ces deux règles sont également et uniformément échauffées.

A l'étranger, on a beaucoup préconisé, ces derniers temps, les règles monométalliques en fer ou en acier, dont la température est fournie par des thermomètres incrustés dans le métal. Mais on peut se demander si la température indiquée par ces thermomètres est bien celle du métal.

Le Service géographique possède les deux systèmes d'appareil, l'un bimétallique (platine iridié et laiton), l'autre monométallique en fer, tous deux construits par les frères Brunner. Ils ont été étudiés, l'un et l'autre, à Breteuil avec le plus grand soin.

Nous avons fait des expériences comparatives avec ces deux appareils sur une longueur de 400^{m}. Les différentes mesures faites avec la règle bimétallique, soit par température croissante, soit par température décroissante, présentent un grand accord; l'erreur moyenne d'une mesure isolée est de $\frac{1}{1000000}$, soit de 1^{mm} par kilomètre. Avec la règle monométallique, au contraire, les différences atteignent quelquefois le $\frac{1}{200000}$. On a constaté, en outre, avec cet appareil, que les indications des thermomètres sont variables, suivant qu'on les place sur l'une ou sur l'autre face de la règle, en raison de la position du soleil.

Comme conséquence de ces expériences, nous avons renoncé à l'emploi de la règle monométallique, pour ne pas être exposé à des erreurs systématiques dont l'existence est plus que probable, et les trois bases de la méridienne ont été mesurées avec l'appareil bimétallique.

Nous croyons devoir faire remarquer que, en dehors de ces appareils de haute précision, il n'en est aucun qui puisse offrir des garanties sérieuses et que toute base mesurée, soit avec un ruban d'acier, soit avec des règles en bois, ne saurait être considérée comme une base géodésique. Il ressort d'expériences que nous avons faites en même temps que les précédentes que le ruban d'acier, même protégé contre les rayons du soleil, ne peut conduire à des résultats exacts, par suite de l'impossibilité où l'on se trouve de mesurer sa température avec certitude. Il serait téméraire de greffer une triangulation sur une base mesurée avec un semblable instrument, quand bien même une double mesure donnerait des résultats concordants.

Nous avons conservé l'ancienne tradition française de prendre des bases longues. A l'étranger, par raison d'économie, on adopte les bases courtes, de 2^{km} à 3^{km} seulement. Étant donnée la précision que comportent les mesures de base, nous pensons que le rattachement géodésique des bases longues offre une plus grande sécurité que celui des bases courtes, ce dernier exigeant une triangulation généralement complexe, très laborieuse à observer et à calculer.

La base de Paris, qui sert de base fondamentale, a été mesurée deux fois. La différence entre les deux résultats est de $8^{mm},9$. L'erreur moyenne kilométrique est de $\pm 1^{mm}$.

Les bases de Perpignan et de Cassel, qui sont des bases de vérification, n'ont été mesurées qu'une fois. Bien que les résultats soient à l'abri de toute erreur matérielle, en raison des précautions prises dans la mesure, chacune de ces bases a été segmentée, et les longueurs obtenues ont été vérifiées par des triangulations spéciales.

La base de Cassel, mesurée cette année, n'est pas encore définitivement cal-

culée. Pour celle de Perpignan, le résultat de la mesure moderne surpasse de $0^m,29$ celui de Delambre. On se trouve amené à conclure que Delambre a commis une erreur dans sa mesure, car il est peu probable que les termes, retrouvés intacts, se soient déplacés, l'un par rapport à l'autre, de cette quantité.

D. *Coordonnées du Panthéon.* — Les coordonnées du Panthéon, telles qu'elles ont été admises pour le calcul de la triangulation française, sont erronées, au moins quant à la latitude. Ces coordonnées dérivent de celles de l'Observatoire de Paris. On avait adopté, pour la latitude de l'Observatoire, 48°50′13″,22; on admet aujourd'hui que cette latitude est, à 0,1 près, 11″,0. Cependant les observations de Laugier ont donné 11″,7, celles de Villarceau 11″,2.

L'azimut fondamental de Delambre a été vérifié par Villarceau à la station de Saint-Martin-du-Tertre; il est sensiblement exact.

Mais Villarceau a déclaré que ses observations n'étaient pas assez nombreuses pour assigner à ces deux éléments une valeur rigoureuse; il ajoutait qu'il serait nécessaire de les déterminer à nouveau, en plusieurs stations, en s'établissant en dehors de Paris, en rase campagne, loin des trépidations et des impuretés de l'atmosphère de la ville.

Cette conclusion nous a conduit à faire des observations de latitude et azimut en quatre stations, Bry-sur-Marne, Morlu, Mont-Valérien et Châtillon, qui paraissent convenablement réparties autour de Paris pour que l'influence des attractions locales soit éliminée, autant que possible, dans la moyenne. Ces quatre stations ont été rattachées au Panthéon et à l'Observatoire par une triangulation soudée à la méridienne.

Les coordonnées fondamentales, que nous avons conclues de l'ensemble de ces observations pour le Panthéon, peuvent être considérées comme exactes à moins de 0,1 de seconde d'arc (sexagésimale).

E. *Stations astronomiques le long du réseau.* — Villarceau avait exécuté, de 1861 à 1866, quelques stations astronomiques le long de la méridienne, pour étudier la triangulation de Delambre. Il a observé la longitude à Dunkerque, la latitude et un azimut à Saligny-le-Vif et les trois coordonnées à Saint-Martin-du-Tertre, à Rodez et à Carcassonne.

Ces stations astronomiques ont été incorporées à la méridienne. Mais elles sont en nombre insuffisant pour que l'on puisse bien se rendre compte de la forme du géoïde, quand on compare les coordonnées géodésiques aux coordonnées astronomiques. Nous avons pensé qu'il était au moins nécessaire de segmenter l'arc méridien de degré en degré pour cette étude et de porter, par conséquent, à dix le nombre des stations.

Le Service géographique a déjà déterminé quatre nouvelles stations, dont

deux à l'extrémité de l'arc, à Rosendael et à Rivesaltes, une à Lihons (Somme) entre Rosendael et Paris, une au Puy-de-Dôme entre Saligny-le-Vif et Rodez. Les trois coordonnées ont été mesurées en trois de ces stations; à Lihons, on n'a observé que la latitude et un azimut.

En outre, pour compléter la liaison de notre triangulation avec celle de l'Angleterre et celle de l'Espagne, on a effectué des mesures de différence de longitude, d'une part entre Paris et Greenwich, Rosendael et Greenwich, d'autre part entre Paris et Madrid, Rivesaltes et Desierto de las Palmas (station occupée par Biot en 1808).

F. *Résultats du calcul.* — En utilisant les observations déjà faites, on a pu procéder à un certain nombre de calculs qui permettent d'entrevoir les conclusions qu'il sera possible de déduire du nouvel arc français.

I. L'enchaînement, calculé en partant de la base de Paris, donne les résultats suivants :

1° A la base de Melun, très voisine de celle de Paris, on trouve, à un centimètre près, la longueur mesurée par Delambre; mais cet accord résulte probablement d'une heureuse compensation d'erreurs. L'incertitude introduite par la triangulation peut, en effet, être évaluée à 5^{cm}.

2° A la base de Perpignan, la nouvelle mesure effectuée par le Service géographique ne diffère de la longueur calculée que de $0^m,05$; l'erreur relative, après un parcours de $6^G,5$ est de $\frac{1}{250000}$.

3° Aux côtés de jonction avec les triangulations étrangères, les valeurs françaises surpassent systématiquement toutes les valeurs étrangères, et la différence relative est en moyenne de $\frac{1}{60000}$. Ce désaccord se trouve justifié actuellement, en ce qui concerne les côtés communs avec les triangulations anglaise, belge et italienne, par ce fait que la toise de Bessel, dont dérivent ces triangulations, a été reconnue trop courte de $\frac{1}{70000}$ par le récent étalonnage dont elle a été l'objet. Mais, du côté de l'Espagne, la différence n'est pas encore expliquée.

4° En calculant à nouveau l'ensemble des chaînes méridiennes et parallèles du réseau français, on a reconnu que la nouvelle méridienne ramène l'ordre et l'harmonie dans la plus grande partie des triangulations; mais elle n'a pu faire disparaître les discordances, déjà signalées par les ingénieurs-géographes, dans la région du sud-ouest, sur les chaînes qui aboutissent aux bases de Bordeaux et de Gourbera

II. Le calcul de l'arc méridien conduit aux résultats suivants : entre les stations astronomiques extrêmes de Rosendael au nord et Rivesaltes au sud, dont l'amplitude est de $8°17'27'',2$, la longueur de la nouvelle méridienne est inférieure de 5^m seulement à l'arc calculé sur l'ellipsoïde de Clarke dont l'aplatisse-

ment est $\frac{1}{293,46}$. Il résulte de là que, pris dans son ensemble, l'arc français s'adapte presque exactement sur cet ellipsoïde.

Mais, si l'on considère les différents segments interceptés par les stations astronomiques échelonnées sur le réseau, on s'aperçoit que ces tronçons ne s'identifient plus individuellement avec l'arc théorique. Les degrés moyens de chaque segment sont trop longs dans le nord, trop courts dans le sud; le changement de signe se produit au nord du Plateau central. On retrouve, dans la forme de l'arc, à peu près les mêmes irrégularités que celles qui avaient été signalées dans l'ancienne triangulation. L'étude détaillée de ces anomalies ne pourra être entreprise que lorsqu'on aura terminé les stations astronomiques qu'il reste à exécuter.

Les deux stations que l'on a pu identifier avec celles de l'ancienne méridienne sont Dunkerque et Carcassonne. L'arc nouveau compris entre ces deux points surpasse l'arc ancien de $44^{m},7$, soit de $\frac{1}{20000}$.

III. Le calcul des coordonnées géodésiques a été fait en partant des coordonnées fondamentales du Panthéon, déterminées à nouveau par le Service géographique, et en supposant la chaîne appliquée sur l'ellipsoïde de Clarke, hypothèse qui a été justifiée plus haut.

Aux stations où les trois coordonnées astronomiques ont été déterminées, l'équation de Laplace [1] est satisfaite dans les conditions suivantes :

Rosendael	$+0'',01$
Puy de Dôme	$-0,57$
Rodez	$+0,62$
Carcassonne	$-1,05$
Rivesaltes	$-0,40$

Les résultats fournis par la nouvelle méridienne peuvent donc être considérés, d'après ce criterium, comme offrant toutes les garanties d'une opération de haute précision.

---

(1) Les valeurs des coordonnées astronomiques en une station sont influencées par les attractions locales qui dévient le fil à plomb; les coordonnées géodésiques calculées dépendent de l'aplatissement adopté, de la précision du réseau qui relie la station considérée à la station fondamentale et enfin des attractions locales qui peuvent exister à cette station fondamentale.

Laplace a démontré que, si les trois erreurs qui affectent les coordonnées géodésiques sont nulles, les différences entre les coordonnées astronomiques observées et les coordonnées géodésiques calculées doivent toujours satisfaire à la relation

$$Z_a - Z_g + \sin L_a (M_a - M_g) = 0,$$

quelles que soient les attractions locales (Z azimut, L latitude, M longitude).

Aux stations de Rodez et de Carcassonne, qui sont communes à l'ancienne méridienne, l'équation de Laplace, déduite de la comparaison des mêmes coordonnées astronomiques avec les coordonnées géodésiques anciennes, donne, au contraire, comme fermetures :

Rodez	—30″,06
Carcassonne	—38″,19

II. — Nivellement de haute précision par la méthode des distances zénithales réciproques et rigoureusement simultanées.

La triangulation de la nouvelle méridienne ne devait comporter que les mesures propres à assurer le calcul de la longueur de l'arc français : il était donc absolument superflu de faire les observations de distances zénithales, puisque la détermination des altitudes était sans objet.

L'introduction des signaux lumineux dans la pratique de nos opérations nous offrait cependant le moyen de réaliser d'une manière absolument rigoureuse la méthode des distances zénithales réciproques et simultanées qui, seule, permet d'éliminer l'influence de la réfraction dans le calcul des différences de niveau, si l'on suppose que l'équilibre atmosphérique existe entre les stations conjuguées. Il était intéressant de rechercher quel est le degré de précision auquel peut conduire l'emploi de cette méthode.

J'ai été spécialement chargé de faire cette étude et, pendant deux années consécutives, j'ai poursuivi, avec le capitaine Penel, une série d'observations qui ont porté sur onze stations, dont les distances sont comprises entre 1^{km} et 40^{km}.

La simultanéité des observations zénithales conjuguées s'obtenait très simplement, grâce à l'emploi, en chaque station, de deux miroirs héliostats, dont l'un formait le point de mire et l'autre servait à faire des signaux conventionnels : avec ce dernier, chaque observateur indiquait le moment où il était prêt pour l'observation; les deux observateurs, se conformant alors à une convention réglée à l'avance, arrivaient à faire leurs pointés rigoureusement au même instant.

Entre chacune des stations conjuguées, nous avons fait 20 mesures de distances zénithales, correspondant à 20 origines équidistantes du limbe. Chaque groupe d'observations simultanées ayant été calculé séparément, nous avons ainsi obtenu 20 valeurs de chaque différence de niveau.

En caractérisant la précision des mesures par l'erreur moyenne d'une différence de niveau isolée, nous avons obtenu les résultats suivants, que nous avons groupés par moyennes de distances entre les stations conjuguées.

Distances des stations conjuguées.	Erreurs moyennes de l'une des vingt différences de niveau.
km	m
2	±0,01
12	±0,10
16	±0,14
40	±0,35

On conclut de là que, si l'on mesure des distances zénithales réciproques et simultanées à des portées ne dépassant pas 15^{km} à 16^{km}, on peut garantir que la différence de niveau moyenne, résultant de vingt couples d'observations, ne comportera qu'une erreur probable de 2^{cm} à 3^{cm}.

Cette méthode est donc susceptible d'une très haute précision et pourrait être appliquée avec avantage pour un nivellement géodésique fondamental.

Le travail que nous avons fait nous a d'ailleurs offert un contrôle précieux qui justifie l'exactitude de nos résultats : notre nivellement géodésique partait de Perpignan où il avait pour point de départ une cote Bourdaloue et arrivait à Carcassonne en se fermant sur un autre repère Bourdaloue ; la différence de niveau que nous avons obtenue entre les deux repères ne diffère que de $0^{m},20$ de la différence de niveau trouvée par le nivellement géométrique.

III. — Jonction géodésique de l'Algérie avec l'Espagne.

Mémorial du Dépôt de la Guerre, t. XIII. — Comptes rendus, 24 novembre et 1er décembre 1879.

Cette grandiose opération est trop connue de l'Académie pour qu'il soit nécessaire d'en retracer l'historique : elle a été réalisée en 1879 par les géodésiens français et espagnols, sous la direction des généraux Perrier et Ibañez.

Deux stations en Espagne et deux stations en Algérie formaient les quatre sommets, réciproquement visibles entre eux, d'un vaste quadrilatère jeté par-dessus la Méditerranée.

L'une des deux stations algériennes, celle de Filhaoussen, m'avait été confiée; la seconde, celle de M'Sabiha, était occupée par le général Perrier.

A Filhaoussen, j'avais à poursuivre non seulement les observations relatives au quadrilatère de jonction, mais encore celles qui avaient pour objet de relier le côté M'Sabiha-Filhaoussen à la triangulation de l'Algérie.

Il m'a fallu attendre près de deux mois avant de rencontrer des circonstances atmosphériques qui fussent assez favorables pour me permettre de voir les sommets espagnols, dont le plus éloigné était à une distance de 270^{km}.

Le degré de précision des mesures du quadrilatère de la jonction hispano-

algérienne est mis en évidence par la petitesse des erreurs de fermeture des quatre triangles qui forment le quadrilatère.

Ces erreurs sont

$$+0'',26, \quad -0'',71, \quad +1'',93, \quad +0'',95,$$

tandis que les excès sphériques sont respectivement égaux à

$$54'',17, \quad 70'',74, \quad 43'',50, \quad 60'',08.$$

La vérification par les côtés n'est pas moins satisfaisante; en partant du côté espagnol Tetica-Mulhacen, dont la longueur est déduite des bases espagnoles, on obtient pour le côté algérien M'Sabiha-Filhaoussen une longueur de $105179^{m},35$, tandis que le même côté, calculé en partant des bases algériennes, est de $105178^{m},56$. La différence est de $0^{m},79$, soit de $\frac{1}{133000}$.

Lorsque les opérations géodésiques ont été terminées, nous avons entrepris des observations astronomiques pour déterminer les différences de longitude entre Alger et M'Sabiha d'une part, M'Sabiha et Tetica d'autre part.

Dans ce travail de longitude, j'occupais la station d'Alger, tandis que le général Perrier était à M Sabiha.

Cette double mesure permettait d'obtenir deux des côtés d'un vaste polygone de longitudes, dont l'un des sommets est Paris et les autres sont Marseille, Alger, M'Sabiha, Tetica et Madrid. Plus tard, en 1886, j'ai contribué à la mesure de l'un des autres côtés, en déterminant avec M. Esteban la différence de longitude entre Paris et Madrid. Le dernier côté, Tetica-Madrid, a été mesuré en 1890 par les géodésiens d'Espagne. Il résulte de l'ensemble des déterminations que le polygone de longitudes ferme à $0^{s},12$.

IV. — Méridienne de Laghouat.

Comptes rendus, 19 mars 1888.

La jonction géodésique de l'Espagne avec l'Algérie réalisait l'œuvre entrevue par Biot et Arago, lorsque ces illustres astronomes prolongeaient jusqu'à l'île de Formentera la méridienne de Delambre et Méchain; elle permettait de prolonger jusque sur le continent africain le grand arc anglo-franco-espagnol dont l'étude peut être si intéressante au point de vue géodésique; il ne s'agissait plus que de mesurer la chaîne d'Alger à Laghouat pour assurer à cet arc tout le développement dont il est susceptible, en le prolongeant jusqu'à l'entrée du désert.

Cette opération a été exécutée, en 1886, sous ma direction, par les officiers du Service géodésique.

La triangulation s'appuie sur le parallèle d'Alger et se termine un peu au sud de Laghouat, s'étendant sur une longueur de près de 300^{km}; elle comporte dix-huit stations.

La région sur laquelle se développe le réseau est celle des hauts plateaux, formée d'immenses plaines dénudées, brûlées par le soleil, qui se prolongent jusqu'au Djebel-Amour.

Nous avons profité d'une colline qui s'étend de l'est à l'ouest, à hauteur de Chellala, pour asseoir nos triangles, dont quelques-uns des côtés atteignent près de 90^{km}.

Avec des portées aussi considérables, on ne pouvait songer à faire usage des mires ordinaires; nous avons eu recours aux signaux lumineux en utilisant de jour les miroirs solaires, de nuit les collimateurs optiques à pétrole.

En Algérie, l'époque favorable aux observations est très limitée, particulièrement sur les hauts plateaux; on ne peut guère compter, pour faire les mesures d'angles, que sur les mois d'octobre et de novembre : plus tôt, l'atmosphère est troublée par les ondulations que les grandes chaleurs produisent dans l'air; plus tard, ce sont les intempéries qui rendent impossible tout séjour prolongé sur les hauts sommets.

D'autre part, l'autorité militaire, qui était chargée de pourvoir à l'organisation des postes optiques, au transport du matériel et au ravitaillement, nous invitait à distraire le moins longtemps possible de leur service les hommes et les animaux qu'elle devait nous fournir en assez grand nombre.

Sous l'empire de ces deux nécessités, nous avons pris le parti de mesurer toute la chaîne en une seule campagne, et nous avons procédé de la façon suivante : trois groupes d'observateurs ont été organisés; les stations ont été réparties entre eux et les dispositions ont été prises pour que les observations fussent faites simultanément par les trois groupes, qui se trouvaient toujours ainsi aux trois sommets d'un même triangle. Grâce à un programme mûrement préparé d'avance, dans lequel on avait dû combiner les déplacements par étapes, les séjours probables aux stations, les installations des postes optiques, programme qui fut ponctuellement suivi, les opérations ont été conduites avec un ordre et une régularité tels que pas un jour n'a été perdu et que toutes les mesures d'angles étaient terminées au bout d'une période de cinquante-trois jours seulement; nous quittions les dernières stations au moment même où les neiges faisaient leur apparition sur les cimes du Djebel-Amour, dont l'altitude dépasse 1700^{m}.

C'est la première fois, croyons-nous, que semblable méthode d'exécution a été employée pour les opérations géodésiques; elle est particulièrement expéditive et même économique, et mérite d'être recommandée quand il s'agit de trianguler une région difficile.

Chaque groupe d'observateurs, comprenant deux officiers, disposait d'un grand cercle azimutal à quatre microscopes de Brunner et d'un théodolite. Les directions ont été mesurées par tour d'horizon, au moyen de 20 séries correspondant à 20 origines équidistantes du limbe. Les triangles ont des erreurs de fermeture, tantôt positives, tantôt négatives, dont la moyenne, en valeur absolue, ne dépasse pas une seconde sexagésimale.

Les distances zénithales, prises aux heures favorables, ont donné des résultats satisfaisants, malgré la longueur des côtés : le coefficient de la réfraction s'est montré sensiblement constant pendant toute la durée des opérations et égal en moyenne à 0,060 ; on peut juger de la précision obtenue pour les altitudes par l'accord des deux cotes trouvées pour Laghouat, dont l'une est calculée en suivant le contour oriental et l'autre suivant le contour occidental de l'enchaînement : ces deux cotes ne diffèrent que de $0^m,90$.

Nous avons rattaché à la triangulation les stations astronomiques de Guelt es Stel et de Laghouat, situées, la première vers le milieu, la seconde au sud du réseau, et en chacune desquelles on avait déjà déterminé la longitude, la latitude et un azimut.

Enfin, dans le but de pouvoir assurer à cette chaîne une autorité incontestable, nous avons préparé, dans les environs de Laghouat, une base de vérification, dont la mesure sera poursuivie incessamment.

Ajoutons, en terminant, que nous avons l'espoir de pouvoir prolonger cette méridienne plus au sud, jusqu'à hauteur de Ghardaïa, et d'augmenter ainsi son développement d'environ $1^\circ,5$.

Une reconnaissance, poussée jusqu'à cette oasis par M. le commandant Defforges, a démontré, en effet, qu'il existe entre elle et Laghouat quelques ondulations de terrain suffisamment prononcées, à l'aide desquelles on pourra établir un réseau à petites portées. Les opérations seront certainement très difficiles dans cette région, dénuée de toute ressource; elles seront même périlleuses; mais ni les dangers ni les fatigues ne doivent arrêter quand il s'agit d'augmenter les conquêtes de la Science.

V. — Observations de Géodésie astronomique en France et en Algérie.

Mémorial du Dépôt de la Guerre, t. XI. — Annales de l'Observatoire de Nice, t. II. Comptes rendus, 27 octobre 1879; 7 décembre 1885; 7 octobre 1889; 23 décembre 1889.

Dès 1873, la section de Géodésie a repris les travaux de Géodésie astronomique qu'elle avait presque complètement abandonnés depuis la disparition des ingénieurs-géographes. Cette même année, je pus m'exercer, à l'Observatoire de

Paris, à la pratique des observations astronomiques, et je fus adjoint à Le Verrier pour la détermination d'un azimut astronomique à La Bastide-du-Haut-Mont, dans le Cantal.

La création de l'Observatoire du Bureau des Longitudes à Montsouris, qui comprenait un pavillon réservé à la Guerre, puis l'installation d'un petit observatoire à Alger (colonne Voirol), au point fondamental de la triangulation de l'Algérie, nous offrirent bientôt les moyens de poursuivre d'une façon systématique, tant en France qu'en Algérie, une série d'opérations pour la détermination des longitudes, des latitudes et azimuts terrestres; en même temps, notre Service s'enrichissait d'une collection d'instruments perfectionnés : cercles méridiens de Brunner, pendules et chronographes de Breguet.

Les travaux de Géodésie astronomique auxquels j'ai participé forment l'énumération suivante :

a. — Différences de longitude.

			En collaboration avec
1.	1876.	Alger-Bône	MM. Perrier.
2.	1876.	Alger-Nemours	Perrier.
3.	1876.	Bône-Nemours	Perrier.
4.	1876.	Paris-Puy de Dôme	Perrier.
5.	1877.	Alger-Biskra	Perrier.
6.	1877.	Alger-Laghouat	Perrier.
7.	1877.	Paris-Lyon	Perrier.
8.	1877.	Lyon-Genève	Plantamour (Directeur de l'Observatoire de Genève).
9.	1877.	Lyon-Puy de Dôme	Perrier.
10.	1879.	Alger-M'Sabiha	Perrier.
11.	1881.	Alger-Guelt es Stel	Perrier.
12.	1881.	Guelt es Stel-Laghouat	Defforges.
13.	1881.	Paris-Nice	Perrotin (Directeur de l'Observatoire de Nice).
14.	1884.	Paris-Leyde	Van de Sande Bakhuyzen (Directeur de l'Observatoire deLeyde).
15.	1884.	Paris-Pic du Midi	Defforges.
16.	1885.	Paris-Lyon	Defforges.
17.	1886.	Paris-Madrid	Esteban (Ingénieur en chef, de l'Institut géographique de Madrid.)
18.	1886.	Paris-Rosendael	Defforges.
19.	1891.	Paris-Rivesaltes	Defforges.
20.	1892.	Paris-Greenwich	Defforges (opération faite en double avec le concours de l'Observatoire de Greenwich).

b. — Latitudes et azimuts.

1877. Biskra.
1880. Lyon.
1881. Guelt es Stel.

1882-1884.	Morlu.............. Bry-sur-Marne...... Châtillon............ Mont Valérien......	Les quatre stations choisies autour de Paris pour la détermination des coordonnées fondamentales de la nouvelle méridienne.
1884.	Pic du Midi.	
1885.	Lyon.	
1886.	Rosendael.	
1891.	Rivesaltes.	

Chaque station astronomique est devenue le lieu d'une station géodésique, en sorte que nous pouvons toujours comparer les résultats provenant de l'observation directe avec ceux que fournit le calcul, par l'enchaînement géodésique, en partant du point fondamental de la triangulation.

Les trois coordonnées astronomiques sont obtenues avec le même degré de précision, soit $\frac{1}{10}$ de seconde d'arc (sexagésimale).

Les observations sont faites partout avec le cercle méridien portatif de Brunner, instrument à lunette droite, muni d'un porte-microscopes, avec lequel on obtient la détermination de la latitude, aussi bien que celle de l'heure.

La longue série des opérations que j'ai poursuivies m'a permis d'arriver à quelques conclusions pratiques sur les conditions à réaliser pour se mettre à l'abri de certaines erreurs.

Longitudes. — Avec les cercles méridiens portatifs, l'heure peut être déterminée à moins de $\frac{1}{100}$ de seconde, si l'on observe dans une soirée une quarantaine d'équatoriales réparties dans quatre séries, correspondant à quatre positions successives du limbe. La discussion des erreurs systématiques et accidentelles, telles que les erreurs dans l'estime des passages, les erreurs du nivellement, de la collimation et de la déviation azimutale, les erreurs de l'enregistrement chronographique et enfin les erreurs d'équation personnelle, les seules que l'on puisse analyser d'après les observations mêmes, démontre que l'erreur probable d'une différence de longitude peut être réduite à $\frac{1}{100}$ de seconde de temps, si l'on se contente de comparer les pendules pendant six à huit soirées d'observations complètes aux deux stations conjuguées, en appliquant au résultat final l'équation personnelle moyenne, telle qu'elle résulte de sa détermination faite avant et après l'opération.

En procédant de la sorte, on applique la méthode simple et directe. Cette méthode peut être regardée comme suffisante, si dans les deux stations conjuguées on peut opérer dans des conditions identiques, avec des instruments comparables, les observateurs ayant la même éducation astronomique et possédant la constance dans leur erreur personnelle, c'est-à-dire dans l'estime des passages.

Ce sont ces conditions mêmes qui ont été réalisées dans la série des longitudes que j'ai déterminées avec le général Perrier; la précision de nos résultats se trouve démontrée par le triangle de longitude que nous avons fermé en Algérie, Bône-Alger-Nemours, dont l'erreur est seulement de onze millièmes de seconde de temps ($0^s,011$).

Mais, si les instruments ne sont pas absolument comparables, si les observateurs n'observent pas de la même manière, cette méthode n'est plus suffisante; il est absolument nécessaire, dans ce cas, pour éliminer les erreurs qui proviennent de ces deux causes, d'échanger les observateurs et les instruments au milieu des opérations, et de faire l'opération en double. Si les instruments sont identiques, il suffit d'échanger les observateurs.

Ce mode de procéder offre certainement plus de garanties de précision que la méthode simple et directe. Il permet même de négliger la détermination directe de l'équation personnelle des deux observateurs, si l'on admet qu'ils observent d'une façon constante, car elle se trouve éliminée par le renversement des observateurs; toutefois, à titre de contrôle, on la mesure généralement avant, au milieu et à la fin des observations, et la valeur moyenne que l'on trouve ainsi doit être égale à la moitié de la différence des deux valeurs obtenues pour la longitude.

Nous avons adopté définitivement cette dernière méthode au Service géographique : les huit dernières longitudes que j'ai déterminées ont été obtenues en faisant l'échange des observateurs et des instruments, quand ceux-ci n'étaient pas comparables, et en y ajoutant le contrôle de l'équation personnelle.

En outre, nous avons pris comme règle, lorsqu'il s'agit d'opérations de longitude fondamentale, de faire au minimum huit soirées de comparaisons de pendule dans chaque série, soit en tout seize soirées.

Il y a profit, en effet, à augmenter le nombre de soirées de comparaisons, pour éliminer plus sûrement les erreurs, qui peuvent provenir soit des réfractions anormales, soit des variations de température, et dont l'influence ne peut être analysée dans les calculs; en multipliant les soirées, on rencontre des conditions atmosphériques variables, et les erreurs que nous venons de signaler, devenant accidentelles, disparaissent dans le résultat final.

Latitudes. — Les mesures relatives à la détermination des latitudes ont été poursuivies suivant la méthode établie par Villarceau, méthode qui repose sur les principes suivants : faire choix d'une quarantaine d'étoiles, de déclinaisons fondamentales, culminant de part et d'autre du zénith à moins de 25° de distance, les observer un certain nombre de soirées, en faisant des séries conjuguées deux à deux, pour des calages équidistants sur le limbe, dans les deux

positions directe et inverse du cercle; suivant l'importance des stations, on détermine la latitude par huit ou douze soirées.

L'erreur probable d'une latitude ainsi obtenue, calculée en comparant les résultats individuels à la moyenne, est inférieure à $\frac{1}{10}$ de seconde d'arc; mais cette précision ne saurait être garantie : elle est infirmée par deux erreurs systématiques, la première qui provient du Catalogue, la seconde de la saison. D'une part, en effet, les déclinaisons des étoiles ne sont pas encore fournies avec une exactitude absolue; d'autre part, il est démontré que les résultats varient avec la saison dans laquelle on observe.

Ces deux erreurs ne peuvent être éliminées que par une méthode d'observations différentielles, analogue à celle que l'on suit dans les opérations de longitude : au lieu de déterminer des latitudes absolues, on détermine des différences de latitude, en installant aux deux stations conjuguées des instruments identiques et en faisant observer simultanément dans les deux stations le même Catalogue d'étoiles.

Cette méthode est particulièrement précieuse pour les mesures de latitude, qui interviennent dans la détermination de l'amplitude de portions d'arc méridien; elle a été pratiquée, pour toutes les stations astronomiques de la nouvelle méridienne; les différences de latitude sont rapportées à la station fondamentale de Paris-Montsouris.

VI. — Passage de Vénus sur le Soleil, du 6 décembre 1882.

Comptes rendus, 22 janvier 1883.

L'une des missions chargées d'aller observer en Amérique le passage de Vénus sur le Soleil, du 6 décembre 1882, avait été attribuée par l'Académie aux géodésiens du Service géographique; elle fut constituée par MM. Perrier, Bassot et Defforges.

Le poste qui nous était assigné était la station de Saint-Augustin, en Floride (États-Unis).

J'étais spécialement chargé de faire les observations à l'équatorial de 6 pouces.

Le jour du passage, nous avons été favorisés par un beau temps exceptionnel pendant toute la durée du phénomène.

J'ai pu noter avec précision les deux contacts internes et le dernier contact externe; je n'avais pu saisir le premier contact extérieur, n'ayant constaté l'entrée de la planète que lorsque l'échancrure du Soleil était déjà sensible.

Les deux contacts intérieurs se sont produits géométriquement sans pont ni ligament.

J'ai complété les observations en faisant, après l'entrée et avant la sortie,

quelques groupes de mesures de la distance des bords du Soleil et de la planète, et, pendant le passage, 25 mesures du diamètre de Vénus.

J'ai contribué à la détermination des coordonnées de la station, en mesurant la latitude par quatre séries d'observations d'une quarantaine d'étoiles zénithales, culminant à moins de 20°.

L'Académie a bien voulu me décerner, en 1886, le prix Lalande, pour la part que j'avais prise dans cette mission scientifique.

VII. — Expériences relatives à la mesure de l'intensité relative de la pesanteur.

Le nouvel appareil, dit *pendule réversible inversable*, imaginé par M. Defforges, pour mesurer l'intensité de la pesanteur, permet de déterminer la gravité relative entre deux stations d'une manière très expéditive, en faisant osciller simultanément un pendule à chaque station, et en rapportant leurs battements à deux horloges synchronisées par le dispositif de M. Cornu. On n'a pas besoin, de cette manière, d'instituer des observations astronomiques à la station synchronisée; il suffit de déterminer la marche de l'horloge directrice.

Cette méthode a été appliquée pour la première fois à la détermination de l'intensité relative de la pesanteur entre l'Observatoire de Nice (mont Gros, 367^{m}) et trois stations voisines, d'altitudes différentes, bureaux du génie à Nice (21^{m}), fort Suchet (833^{m}), caserne de Peiracava (1420^{m}), en vue d'étudier la variation de la pesanteur avec l'altitude.

Les expériences ont été faites en 1887 par MM. Bassot et Defforges. J'observais au mont Gros, tandis que M. Defforges se transportait successivement aux trois stations indiquées plus haut.

Ce travail a été publié par M. Defforges dans les *Comptes rendus de l'Association géodésique internationale* (1889). Il conduit aux conclusions suivantes :

1° La synchronisation de deux horloges, à des distances atteignant 50^{km}, est réalisée sans peine à moins de $\frac{1}{200000}$, même avec une communication télégraphique médiocre.

2° La pesanteur varie, dans les Alpes-Maritimes, proportionnellement à l'altitude, l'observation confirmant la loi théorique de Bouguer.

3° La densité déduite des variations de la pesanteur pour les couches superficielles est assez voisine de la densité moyenne des couches supérieures du massif des Alpes-Maritimes.

VIII. — Nouvelle Table de logarithmes à 8 décimales dans le système de la division centésimale du quadrant.

Comptes rendus, 2 février 1891.

Ce Recueil est destiné à remplacer les Tables de Borda, aujourd'hui épuisées.

L'échelle décimale, introduite pour la première fois par Borda dans les instruments, employée par Delambre et Méchain dans les opérations de la méridienne de France, est appliquée, depuis près d'un siècle, par les géodésiens français. Une aussi longue expérience a établi définitivement sa supériorité sur la division sexagésimale, aussi bien dans les instruments que dans les calculs.

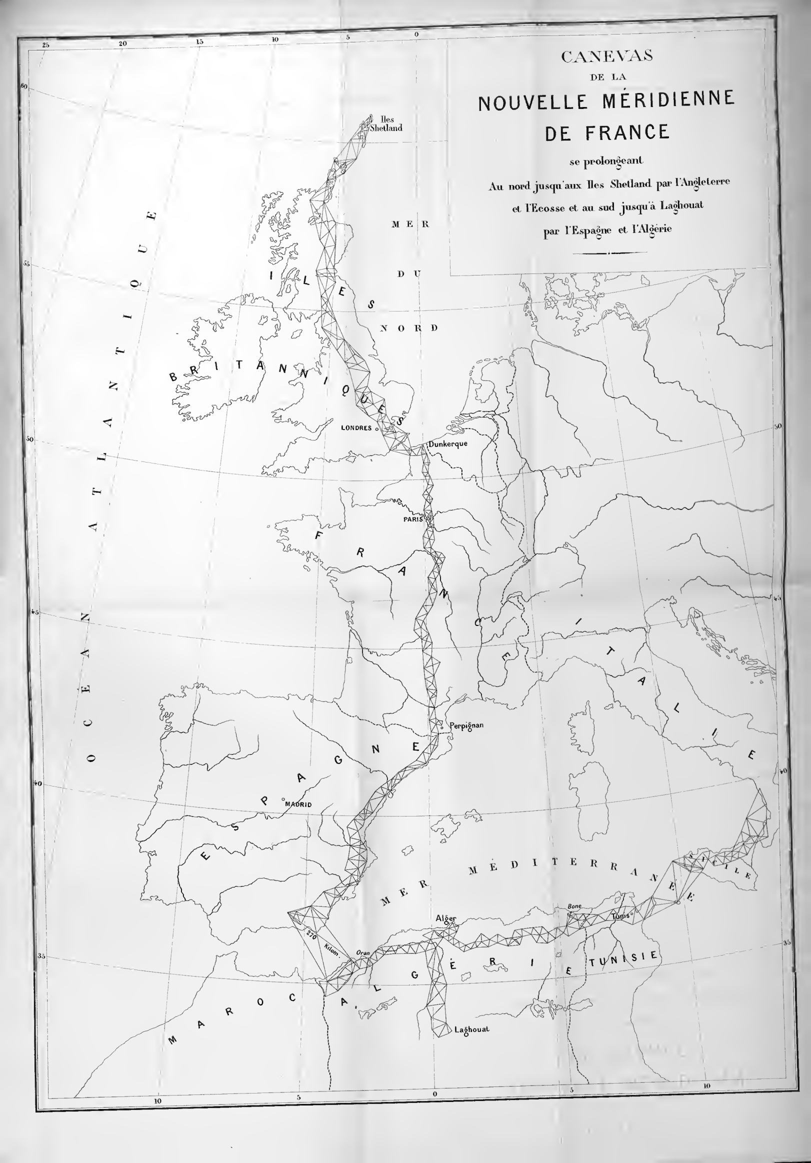
Par une décision récente du Ministre de la Guerre, l'usage des Tables décimales a été introduit dans le programme des examens à l'École Polytechnique.

Les nouvelles Tables à 8 décimales sont un extrait vérifié des Tables manuscrites du cadastre à 14 décimales, que Prony fit établir à la fin du siècle dernier.

Commencé par le général Perrier, ce Recueil a été poursuivi et achevé sous mon contrôle.

Le Service géographique a publié également, sous ma direction, des Tables à 5 et à 4 décimales, dans les deux systèmes, centésimal et sexagésimal.

18965 Paris. — Imprimerie Gauthier-Villars et fils, quai des Grands-Augustins, 55.


CANEVAS
DE LA
NOUVELLE MÉRIDIENNE
DE FRANCE
se prolongeant
Au nord jusqu'aux Iles Shetland par l'Angleterre
et l'Ecosse et au sud jusqu'à Laghouat
par l'Espagne et l'Algérie
Iles Shetland
MER DU NORD
ILES BRITANNIQUES
OCEAN ATLANTIQUE
LONDRES
Dunkerque
PARIS
FRANCE
ITALIE
Perpignan
ESPAGNE
MADRID
MER MÉDITERRANÉE
SICILE
Bone
Tunis
Alger
Oran
270 Kilom.
ALGÉRIE
TUNISIE
MAROC
Laghouat